

Études des impacts des pratiques forestières
sur la conservation de la ressource saumon dans le
bassin-versant de la rivière Caspédia :
Développement de nouveaux critères sédimentologiques
de qualité du substrat de fraie du saumon atlantique
Bergeron, N.//Lapointe, M.//Bérubé, F.//Pouliot, M.A.//
Johnston, P.//Wagner, G. & M. Levasseur

**VOLET 1 - EXPÉRIMENTATION
PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES
DU MILIEU FORESTIER**

¹Études des impacts des pratiques forestières sur la conservation
de la ressource saumon dans le bassin-versant de la rivière Cascapédia :

Développement de nouveaux critères sédimentologiques de qualité
du substrat de fraie du saumon atlantique

Bergeron, N., Lapointe, M., Bérubé, F., Pouliot, M.-A.,
Johnston, P., Wagner, G. et Levasseur, M.

¹Contribution au programme de recherche du CIRSA (Centre Interuniversitaire de
Recherche sur le Saumon Atlantique)

16 octobre 2003

**VOLET 1 - EXPÉRIMENTATION
PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES
DU MILIEU FORESTIER**

¹Études des impacts des pratiques forestières sur la conservation
de la ressource saumon dans le bassin-versant de la rivière Cascapédia :

Développement de nouveaux critères sédimentologiques de qualité
du substrat de fraie du saumon atlantique

Bergeron, N., Lapointe, M., Bérubé, F., Pouliot, M.-A.,
Johnston, P., Wagner, G. et Levasseur, M.

¹Contribution au programme de recherche du CIRSA (Centre Interuniversitaire de
Recherche sur le Saumon Atlantique)

16 octobre 2003

AUTEURS ET TITRE

Bergeron, N.¹, Lapointe, M.², Bérubé, F.¹, Pouliot, M.-A.¹, Johnston, P.¹, Wagner, G. et Levasseur, M.¹ (2003). Études des impacts des pratiques forestières sur la conservation de la ressource saumon dans le bassin-versant de la rivière Cascapédia : Développement de nouveaux critères sédimentologiques de qualité du substrat de fraie du saumon atlantique, *Rapport du Programme de mise en valeur des resssources du milieu forestier, Volet 1 – expérimentation, Ministère des Ressources Naturelles du Québec*, 46 pages.

¹ INRS-Eau, Terre et Environnement

² Université McGill

^{1,2} Centre Interuniversitaire de Recherche sur le Saumon Atlantique

Centre-Eau, Terre & Environnement
© 2003

ISBN : 2-89146-508-3

TABLE DES MATIÈRES

Auteurs et titre	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des figures	v
Problématique	6
Structure du rapport	7
Partie 1	
Interactive effects of substrate sand and silt contents, redd-scale hydraulic gradients and interstitial velocities on egg to emergence survival of Atlantic salmon (<i>Salmo salar</i>)	8
Abstract	10
Introduction	11
Methods	13
Results	16
Discussion	19
References	21
Partie 2	
Effet des sédiments fins sur la survie des embryons de saumon de la rivière Cascapédia	32
Objectif	33
Sites et méthodes	33
Résultats	38
Survie des œufs	38
Sédiments fins	40
Conclusion	44
Remerciements	46

Liste des tableaux

Tableau 1. Résultats de l'étude de survie des embryons..... 39

Tableau 2. Caractéristiques des sédiments fins dans les nids à la fin de la période
d'incubation..... 41

Liste des figures

Figure 1. Diagram showing one of the cylinder used to incubate Atlantic salmon (<i>Salmo salar</i>) eggs	24
Figure 2. Survival to emergence of fry averaged over the three study gradients as a function of % sand and % silt.....	25
Figure 3. Survival to emergence of fry as a function of hydraulic gradient.....	26
Figure 4a. % change of survival to emergence resulting from an increase of gradient A) from low to mid-level gradients and B) from mid to high level gradients.....	27
Figure 4b. % change of survival to emergence resulting from an increase of gradient A) from low to mid-level gradients and B) from mid to high level gradients.....	28
Figure 5a. Effect of increasing hydraulic gradient on survival to emergence for A) silt rich (> 1,5 %) and B) silt poor (<1,5 %) sediment mixtures	29
Figure 5b. Effect of increasing hydraulic gradient on survival to emergence for A) silt rich (> 1,5 %) and B) silt poor (<1,5 %) sediment mixtures	30
Figure 6. Survival to emergence of fry as a function of interstitial flow velocity and fine sediment content.....	31
Figure 7. Localisation des frayères à l'étude sur la rivière Cascapédia.....	34
Figure 8. Photo d'un panier virtuel: armature de métal et sac.....	35
Figure 9. Photo d'un panier virtuel et de son sac lors de l'installation	35
Figure 10. Séquence d'extraction d'un panier du substrat. À titre d'exemple le panier a été installé sur une partie exondée du lit.....	37
Figure 11. Comparaison des pourcentages de sable moyen à grossier (0.250 à 2 mm) retrouvés dans les paniers virtuels simulant des nids de saumon sur les rivières Cascapédia (CASC) et Sainte-Marguerite (RSM).....	42
Figure 12. Comparaison des pourcentages de silts (<0.063 mm) retrouvés dans les paniers virtuels simulant des nids de saumon sur les rivières Cascapédia (CASC) et Sainte-Marguerite (RSM).....	43

PROBLÉMATIQUE

Plusieurs rivières à saumon de la Gaspésie (e.g. rivière Cascapédia) coulent sur des roches sédimentaires à faciès détritiques fins (roches sédimentaires grisâtre, comprenant des grès, des calcaires schisteux argileux souvent laminés et des shales) qui génèrent des sédiments contenant relativement peu de sables mais dont la fraction limon ou *silts* (diamètre des particules < 0.063 mm) est particulièrement abondante. Bien qu'il soit connu que la présence de sédiments de la taille des sables dans le substrat des rivières peut avoir un effet négatif sur le développement et la survie des œufs de saumon (voir Chapman (1988) et Reiser (1999) pour une revue complète), peu d'informations sont disponibles concernant l'effet des limons.

L'effet des sables lors de l'incubation est double. Premièrement, ceux-ci bouchent les interstices du substrat de fraie, ce qui a pour conséquence de diminuer la perméabilité et de réduire l'écoulement intergranulaire responsable de l'oxygénation des œufs et des alevins wastes (e.g. Wickett, 1954; Cordone and Kelley, 1961; McNeil, 1966; Everest *et al.*, 1987). Deuxièmement, les sables bloquent le déplacement des alevins qui demeurent emprisonnés dans le substrat après l'éclosion et finissent par y mourir (e.g. Phillips *et al.*, 1975; Hausle and Coble, 1976).

En raison de la finesse des limons, il est cependant possible que de très modestes quantités de cette fraction granulométrique contribuent également à réduire de façon importante l'écoulement intergranulaire et la survie des embryons. Des expériences effectuées en rivière à l'aide de nids artificiels suggèrent que la survie des embryons pourrait fortement décroître quand la teneur en limons excède 0,5 % (Julien, 2000). Or, des données préliminaires récoltées dans le bassin de la rivière Cascapédia indiquent que les teneurs en limon dans le substrat semblent excéder ce seuil, particulièrement près des secteurs où la forêt a été récemment coupée.

Cependant, les critères sédimentologiques définissant la qualité de substrat de reproduction pour les salmonidés sont essentiellement basés sur la fraction sableuse et donnent peu d'informations sur les teneurs maximales en limons permmissibles.

Une étude en laboratoire financée par le «Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier Volet I – expérimentation» a permis de démontrer que la présence de limons dans le substrat d'incubation des œufs de saumon augmente de façon significative et importante la mortalité d'embryons (Bergeron *et al.*, 2002). Ce résultat est d'une très importance scientifique et pratique puisqu'il implique que de nouveaux critères sédimentologiques de la qualité du substrat de reproduction incluant l'effet des limons doivent être développés et validés sur le terrain.

Les objectifs du présent projet consistaient à 1) développer de nouveaux critères sédimentologiques de qualité du substrat au moyen d'expérience en laboratoire permettant d'approfondir les résultats obtenus au cours de la première étude et 2) valider ces critères sédimentologiques sur le terrain en effectuant une étude de la survie des embryons de saumon sur la rivière Cascapédia.

STRUCTURE DU RAPPORT

Le rapport est divisé en deux parties principales. La première partie est écrite sous forme d'article scientifique et elle présente les résultats de l'expérience de laboratoire visant à déterminer de nouveaux critères de qualité des frayères. Cet article, rédigé en anglais, a été soumis en août 2003 pour publication dans la revue «Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences». La deuxième partie du rapport présente les résultats de l'étude de survie des embryons de saumon sur la rivière Cascapédia.

PARTIE 1

**Interactive effects of substrate sand and silt contents, redd-scale hydraulic
gradients and interstitial velocities on egg to emergence survival
of Atlantic salmon (*Salmo salar*)**

Interactive effects of substrate sand and silt contents, redd-scale hydraulic gradients and interstitial velocities on egg to emergence survival of Atlantic salmon (*Salmo salar*)¹

**Lapointe, Michel F.², Bergeron, Normand E.³, Bérubé, F.³,
Pouliot, M-A.³ and Johnston, P.³**

² Department of Geography, McGill University, 805 Sherbrooke W., Montréal, QC, Canada H3A 2K6

³ INRS-Eau, Terre et Environnement, 880 ch. Sainte-Foy, bur. 840, C.P. 7500, Québec, QC, Canada G1V 4C7

¹ This is a contribution to the scientific program of CIRSA (Centre Interuniversitaire de Recherche sur le Saumon Atlantique).

² Author to whom all correspondence should be addressed. Tel.: 514-398-4959, email: lapointe@geog.mcgill.ca

Abstract

For the purposes of salmonid habitat management, fines content within gravel/cobble stream substrate remains a primary predictor of spawning habitat quality. However, important uncertainties remain concerning the relative sensitivity of habitat quality to variations in silt (D under 0.063 mm) and sand fractions in spawning substrate, as well as the effects on published fines thresholds of variations in strength of local hydraulic gradients pushing flow across the egg pocket. We conducted laboratory incubator experiments with Atlantic salmon eggs using an orthogonal design with 4 sand, 4 silt and 3 hydraulic gradient levels to test a number of hypotheses concerning these interactions. Our results show that variations of only a few percent of silt content in spawning substrate can strongly degrade survival from egg to emergence. Higher silt loadings (over 0.5%) are detrimental to survival for all substrate mixtures except those that are very lean in sands (under 5%). For sand contents over 10%, an increment of 1% silt has over 3 times the effect on survival as a 1% increment in sand. Increasing gradients had a positive effect on median survival, but the effect depends both on the details of the fines composition as well as on the level of gradient. Our results suggest that silt loadings over 1.5 % in redds cannot easily be mitigated by stronger gradients, within the range tested. Our data conclusively show that there is no single threshold interstitial flow velocity that insures survival from egg to emergence since at any given velocity, survival tends to reduce in higher fines content substrate.

Key words

Fine sediment, silts, hydraulic gradient, egg survival, *Salmo salar*.

Introduction

Assessing the quality of spawning habitat is of great importance for the management of salmonid populations in rivers. Current research suggests that spawning habitat quality cannot easily be summarised by a single metric; it is affected by multiple environmental controls operating at different physical and temporal scales. Redd site selection must not only insure sufficient interstitial water flow locally around the egg pocket over the whole incubation period, its location within the river pattern must also minimise the vulnerability of egg pockets during seasonal extremes to freezing, scouring and sediment entombment (Sowden and Power, 1985; Walsh and Calkins, 1986; Kondolf *et al.*, 1991; Montgomery *et al.*, 1999; Baxter and Hauer, 2000; Lapointe *et al.*, 2000). Nonetheless, for the purposes of habitat management, fines content within gravel/cobble substrate remains a primary predictor of spawning habitat quality. This study aims to quantify the effects on reproductive success of interactions between sand and silt (D under 0.063 mm) contents combined with the effects of variations in strength of local hydraulic gradients pushing flow across the egg pocket.

The detrimental effects of excessive fine sediment on substrate permeability, intergranular flow velocities and resultant survival of salmonid embryos/sac-fry have been documented in numerous laboratory studies (Wickett, 1954; McNeil and Ahnell, 1964; Lotspeich and Everest, 1981; Peterson and Metcalfe, 1981; Tappel and Bjornn, 1983; Chapman, 1988; Young *et al.*, 1991). Unfortunately these studies refer to a range of very broad measures of fines content, such as total fraction under 2mm or 8mm and most fail to explicitly account for the large differences in inherent permeability among finer alluvial fractions. Yet, the detrimental effects for reproductive success of a unit mass of alluvial silt (D under 0.063mm) may be much greater than that of an equivalent mass of sands. Since the permeability (or hydraulic conductivity) of uniform granular material varies with the square of particle diameter (Vukovic and Soro, 1992) relative permeability varies, for example, 30 fold between pure 1mm coarse sand and 0.15 mm fine sand, and 30 fold again between the fine sand and 0.03 mm silts. While Peterson and Metcalfe acknowledged, in the design of their Sand Index, the greater effect on reproductive success of fine sand (D between 0.06 and 0.5 mm) compared to coarse

sands (D between 0.5 and 2 m), no extant study has determined threshold values of silt content for egg survival . Although absolute silt content in gravel alluvium is usually very low, it is spatially variable and can reach a few percent in some salmon rivers draining friable, fine textured parent rock (Wilson, 2003).

From physical principles, sediment size composition and permeability affect intergranular flow rates (which control transport of oxygen and removal of metabolic wastes). A number of studies have thus cited, as thresholds for reproductive success, minimum intergranular flow velocities rather than maximal fines contents (Wicket, 1954; Cooper, 1965). From Darcy's law

$$(1) \quad V = -K (\Delta H / \Delta X)$$

bulk flow velocity (V, also called specific discharge) through the spawning gravel is a function, on the one hand, of substrate hydraulic conductivity (K) , controlled by grain size distribution and packing and, on the other hand, by the strength of gradients ($\Delta H / \Delta X$) in hydraulic heads (H) driving interstitial flow through a path of length ΔX through the riffle substrate. In theory, a sufficiently strong hydraulic gradient can thus compensate for low permeability substrate and yield any threshold level of interstitial velocity required to transport oxygen and wastes. Moreover, shallow sub-bed hydraulic gradients vary spatially over rivers, partly controlled by channel and bedform morphology (Geist and Dauble, 1998; Geist, 2000). There is indirect evidence that spawners may select for local gradient conditions, in addition to substrate composition: bigger, more complex spawning bars, often associated with stronger hyporheic gradient conditions, in some cases with sub-optimal substrate, appear to be preferred spawning sites for certain salmonids (Dauble and Watson, 1990; Geist and Dauble, 1998; Baxter and Hauer, 2000; Coulombe-Pontbriand and Lapointe, *in press*).

However, even if strong gradients produce adequate interstitial flow rates, embryo emergence from the substrate may be hindered if substrate fines content is too high, leading to smaller pore spaces and stronger compaction. Thus, it is unclear whether

reproductive success depends solely on interstitial flow velocity, irrespective of substrate fines content, nor to what extent fish selection of spawning beds under stronger interstitial gradients can compensate for deteriorated substrate fines content. To test these questions, laboratory incubation experiments were conducted to clarify the relative sensitivity of reproductive success (defined here as egg to emergence survival) to varying proportions of sands and silts, under different conditions of hydraulic gradients and resultant flow velocities across the egg pocket.

Three hypothesis are tested here:

1. That over a range of sand contents, variations in silt contents have a clear effect on reproductive success and that reproductive success is significantly more sensitive to silts than to similar amounts of sands.
2. That for any given substrate mixture, survival increases with the strength of the local hydraulic gradient driving flow across the egg pocket.
3. That while interstitial flow velocity integrates the effects of substrate size and local hydraulic gradients, it cannot on its own completely predict reproductive success: at any given interstitial velocity, survival to emergence still varies with the amount of fines present in the incubating substrate.

Methods

A series of laboratory experiments were conducted between November 2002 and March 2003 in the «Laboratoire régional des sciences aquatiques» (LARSA) at Laval University, Québec (Canada). In these experiments, Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs were incubated in cylinders containing varying sediment size mixtures and subjected to different hydraulic gradients. Sixteen sediment mixtures were created using an orthogonal design, made up of four values of % sand and four % silts, each of which were subjected to three different hydraulic gradients ($\Delta H / \Delta X = 0,0009, 0,006, 0,012$). (Here, a gradient of 0.012 or 1.2% represents a drop of 1.2 cm of hydraulic head over a metre flow path).

Experimental sediment mixtures consisted of a common control mixture of gravels to which was added varying combinations of sands and silts. The coarse, control gravel did not include sediment smaller than 2 mm and its grain size distribution was determined in order to be representative of a typical Atlantic salmon redd. The proportion of sand in a mixture was quantified with the sand index (Si) developed by Peterson and Metcalfe (1981):

$$(2) \quad Si = (Sc/16 + Sf/8)$$

where Sc and Sf are respectively the percentage of coarse sand (0,5 - 2mm) and fine to medium sand (0,06 - 0,5 mm). Due to space and time limitations in the lab, we could not test independently varying combinations of these two sand fractions: in all mixtures, the ratio of coarse sand to fine sand was held constant at 3.3, a typical value for riffle alluvium in Quebec salmon rivers.

The sand index values tested in this experiment (0,5, 1,0, 1,5, 2,0) were selected to be representative of the range of values encountered in natural salmon streams. According to Peterson and Metcalfe (1981) embryo survival is generally excellent when Si is <1,0 while it is very poor when Si is >1,5. These authors however gave no details on the range of applicability of this threshold in terms of silt levels or gradient conditions. For each sand index value, 4 different percentages of silt representative of the range of values (0.2, 1.2, 2.2, 3.2%) generally found in Quebec salmon streams were tested. To assemble each mixture, its three components (control gravel, sands and silts) were weighted and thoroughly mixed, while dry, in the order finer fractions to coarser fractions. Resultant mixtures were then carefully inserted in layers in a polymer cylinder (diameter 15 cm x height 50 cm).

The porosity (p) of each mixture was determined in the laboratory from:

$$(3) \quad p = Ve/Vt$$

where V_e is the volume of water needed to saturate the total volume of the cylinder V_t containing the dry sediment mixture. Three replicate groups of 16 cylinders, each group covering the range of study mixtures, were then installed in separate basins to undergo different gradient conditions. Each basin was divided in an outer and a central section. The cylinders were installed in the outer section, each cylinder being connected to the central section by a 2 cm-diameter pipe located immediately above the bottom of the cylinder (Figure 1). A hydraulic gradient was created inside the cylinders by maintaining different water levels in the outer and central sections of the basin. All flow paths between these two sections, other than from the top of each cylinder to its outlet pipe, were carefully sealed. All cylinders inside each of the three basins were thus subjected to exactly the same hydraulic gradient.

The mean velocity in pore spaces (V') for each sediment mixture and gradient was measured from

$$(4) \quad V' = V / p = \frac{Q}{A \cdot p}$$

where Q is the water discharge coming out of a cylinder, V is the bulk velocity or specific discharge used in Darcy's law (eq. 1), p is the porosity of the sediment mixture and A is the surface area of the cylinder. Water discharge in a cylinder was determined by attaching a plastic bag to the end of the pipe located in the central section of the basin and averaging replicate measurements of the total volume of water flowing in the bag over a given period of time. The median hydraulic gradient used in these experiments (0,006) produces a flow velocity in the interstices of 0.015 cm/s in a cylinder containing only the clean, control mixture. This value is typical of flow velocities measured in salmonid redds from which fine sediments were winnowed by the digging action of the female fish.

The Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs used in the experiment were provided by the Société Cascapédia and came from adults of the Cascapédia river (Québec, Canada).

Within 24h of fertilization, all eggs were water hardened, transported to the laboratory in water-filled mason jars maintained at a temperature of 4°C, acclimated to water basin temperature (8,8°C) by increasing water temperature at a rate of 1°C per hour, and placed in the experimental incubating substrates. A control batch of fertilized eggs was kept aside in an incubator in order to determine the percentage of non-viable eggs. The proportion of non-viable eggs was under 10% and no correction was applied to survival to emergence data. For each cylinder, a 15 cm-thick layer of sediment was first put at the bottom of the cylinder. Then, 100 eggs were distributed over the gravel surface and covered by another 15 cm-thick layer of sediment. This manipulation was done while the cylinders were filled with water to reduce damage to the eggs.

Unchlorinated water flowing through the cylinders was maintained at a temperature of 8,8°C throughout the incubation period which started on november 7nd 2002. Starting 10 days prior to expected date of the beginning of emergence at the end of January, each cylinder was inspected daily for emerged fry. On each occasion, emerged fry were counted and removed. Survival to emergence was measured as the total number of fry collected from each cylinder over the incubation period.

RESULTS

Interactive effects of silt and sand contents on survival

Figure 2 presents curves of mean survival rates, averaged over the three study gradients, as a function of % Silt and % Sand (or equivalent Sand Index values). Isolines were interpolated using a distance weighted least squares procedure. The overall trends of the contours reveal an interaction between the effects of silt and sand contents on survival: while large silt contents have negligible effect on mean survival at SI values under 1 (% sand under 10%), the effects of rising silt content is quite marked at sand indices greater than 1.25 (% Sand over 16%). Conversely, with increasing silt contents, a given value of Sand Index is associated with progressively lower survival rates.

A simple regression model (5), with highly significant (p under 0.0003) Sand Index and sand-silt interaction terms, predicted 50% (adj R^2) of the variations in experimental survival data for the three gradients combined:

$$(5) \quad \% \text{ Survival} = 83 - 29 (\text{SI}) - 6 (\text{SI} * \% \text{ Silt}) \quad p = 0.00001$$

or equivalently :

$$\% \text{ Survival} = 83 - 2.3 (\% \text{ Sand}) - 6 (\% \text{ Sand} * \% \text{ Silt})$$

For moderate to high sand contents (SI over 0.8 or % sand over 10%), the slope of the survival isolines becomes relatively constant over much of the mixture space (Figure 2) and a simple linear model (6) in sand and silt (without interaction term) captures 52% of the variation in mean survival across the study gradients:

$$(6) \quad \% \text{ Survival} = 103 - 10 (\% \text{ Silt}) - 3 (\% \text{ Sand}) \quad (p \text{ under } 0.00000)$$

Effects of changing hydraulic gradient on egg to emergent survival

Figure 3 shows that increasing gradients had a positive but somewhat nonlinear effect on median survival, over all sediment mixtures tested. The increase in survival associated with a given increment in gradient depends both on the details of the fines composition as well as on the level of gradient, as illustrated in figures 4a,b. The interpolated contours in figure 4a reveal that increasing gradients, from low to mid-range (yielding a 40% median increase in survival overall, cf figure 3), broadly increase survival rates across the spectrum of composition, except at the very highest sand content tested. The most pronounced effect of ramping gradients from low to mid-range first occurs in clean (low sand low silt) mixtures, where the increment in survival exceeds 50%.

Increasing gradients by a further, comparable increment, from the mid-range (0.005) to the highest value tested (0.012), only enhanced median overall survival by a few % (cf figure 3). However this had a strong beneficial effect (Figure 4b) for the subset of mixtures with high sand but lower silt contents, where survival increased by 20-50 %.

Figure 5 summarises the contrast in overall survival response to increasing gradients between silt rich (Figure 5a) and silt poor mixtures (Figure 5b), with arbitrary separation at 1.5% silt. While median survival increases continuously with gradient across all silt poor mixtures, the median survival response of silt-rich samples is muted as gradients are increased between low and mid-range, and non-existent between mid and high gradients.

Adding gradient terms to the sediment composition predictors in (eq 5) increases variance explained in the experimental survival data from 50% (eq 5) to 77% (eq 7). This regression model incorporates only 3 highly significant (p under 0.00001) predictors, gradient, % Sand and an interaction term between gradient and overall fines content (% Sand * % Silt).

$$(7) \quad \% \text{ Survival} = 51 - 2 (\% \text{ Sand}) + 5070 (\text{Gradient}) - 69 (\text{Gradient} * \% \text{ Silt} * \% \text{ Sand})$$

Interstitial velocities and survival

As discussed in the context of Darcy's law, it may be expected that the combined effects of fines content and hydraulic gradient on survival can be integrated through the intensity of interstitial velocities V' flowing through the egg pocket. Figure 6 illustrates the associations among interstitial velocity, % sand and observed survival in our 2 experiments. (Note that the top right part of the panel is extrapolated beyond our data). Although survival increases with velocity for any sediment composition, at any given value of interstitial velocity lower survival rates occur with progressively higher sand contents. Eq 8 predicts 70% of the variation in experimental survival rates based on velocity, % sand and (% Sand * % Silt), 3 predictors that are each highly individually significant (p under 0.0001).

$$(8) \quad \% \text{ Survival} = 141 + 36 \text{ Log} (V') - 1.5 (\% \text{ Sand}) - 4.1 (\% \text{ Sand} * \% \text{ Silt})$$

Note finally that while velocities range over 2 orders of magnitude, observed substrate porosities (at 28% +/- 3%) vary weakly across our mixtures. Thus bulk velocities V are

strongly correlated to interstitial velocities V' ($V \cong 0.28 V'$) and these two measures of intergranular velocity would be equally useful as predictors of survival.

DISCUSSION

The relative effects of silt versus sands

Although a substantial portion of the silt and sand content is usually flushed out of fresh redd substrate by female digging activity (Kondolf, 1993), appreciable re-infiltration of fines around egg pockets can occur in fines-rich stream systems over the many months of the incubation period. Our results indicate that high silt loadings are detrimental to survival for all substrate mixtures except those that are very lean in sands (under 5%). For sand contents over 10%, an increment of 1% silt has over 3 times the effect on survival as a 1% increment in sand (eq. 6). Our data indicate that variations of only a few percent of silt content in spawning substrate over the course of incubation can strongly degrade survival from egg to emergent. For example, at 15% sand (SI of 1.25) mean survival decreases from 60% to 20% as silt content increases over the range 0-4% (cf Figure 2).

The interaction between sand and silt content evidenced in Figure 2 and eq. 5 appears to reflect differences in resultant pore space organisation, under the effect of seepage forces caused by interstitial flow. At very low sand contents, even large masses of silt particles may be free to rearrange themselves slightly within the gravel framework, freeing preferred routes for intergranular flow and maintaining substantial flow and emergence routes across the egg pocket. (In none of our experiments, however, did silt leach out of the cylinders into the receiving basin). However, at higher sand contents, the silts may be more effectively trapped in the interstices between the ubiquitous sand particles, inhibiting the formation of larger pores, reducing flow rates as well as hindering emergence more effectively.

Our data and regression model (5) also allows us to refine the interpretation of Peterson and Metcalf's (1981) Sand Index. For example, with less than 0.5% silt, a SI of 1.0 (Peterson and Metcalf's nominal threshold separating good from mediocre substrate)

yields an average survival of 70% over the range of 4 gradients tested. However, at 3% silt, survival is only 40% at SI = 1.0.

The interactive effects of hydraulic gradient and fines content on survival

Our results confirm that variations in local hydraulic gradients across redds, typically associated with variations in channel morphology, could potentially be exploited by salmon to enhance reproductive success (Figure 3 and eq. 7). However, they also highlight the complex, multifactorial nature of spawning habitat quality indices. While Peterson and Metcalfe (1981) state that Sand Index values greater than 1.5 correspond to poor spawning substrate, at the highest gradient tested (0.01) survival reached 60% in a mixture with SI of 2.0, with low silt loading (under 0.5%).

The data show that there is no single, threshold interstitial flow velocity that insures survival from egg to emergent fry: fines content also matters. For example, a 0.01 cm/s interstitial velocity through a 6% sand mixture is associated with a 60% mean survival (Figure 6) over the range of study gradients. However, when sand content is as high 26%, the same interstitial velocity is associated with only 20% mean survival. This is consistent with the view that fines have, in addition to their effect on flow rate and hence potential metabolite transport rate, mechanical effects on embryo development (such as membrane abrasion or hindrance to emergence).

Finally, the results indicate that the silt fraction plays a role in modulating how higher gradients affect survival (Figure 5a,b). As seen above, survival in high sand loading mixtures can be enhanced at high gradients, as long as silt levels are relatively low. However, our results suggest that high silt, associated with moderate to high sand loadings in redds, cannot as easily be mitigated by stronger gradients, at least within the range tested. One possible implication of this is that, in rivers with very high suspended silt transport regimes, select riffle zones with unusually high subsurface hydraulic gradient conditions may not be as important to stock reproduction as they may be in sand-rich, low silt systems.

References

- Baxter, C.V. and Hauer, F.R., 2000. Geomorphology, hyporheic exchange, and selection of spawning habitat by bull trout (*Salvelinus confluentus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57: 1470-1481.
- Chapman, D.W., 1988. Critical Review of Variables Used to Define Effects of Fines in Redds of Large Salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society*, 117(1): 1-21.
- Copper, A.C., 1965. The effects of transported stream sediments on survival of Sockeye and Pink salmon eggs and alevins. *International Pacific Salmon Fisheries Commission Bulletin*, No. 18, New Westminster, BC, pp. 72.
- Coulombe-Pontbriand, M. and Lapointe, M., in press. Geomorphic controls, riffle substrate quality and spawning site selection in two semi-alluvial salmon rivers in the Gaspé Peninsula, Canada, *Rivers Research and Applications*.
- Dauble, D.D. and Watson, D.G., 1990. Spawning and abundance of fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in the Hanford Reach of the Columbia River, 1948-1988. PNL-7289, Pacific Northwest Laboratories, Richland, Washington.
- Geist, D.R., 2000. Hyporheic discharge of river water into fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) spawning areas in the Hanford Reach, Columbia River. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 57: 1647-1656.
- Geist, D.R. and Dauble, D.D., 1998. Redd Site Selection and Spawning Habitat Use by Fall Chinook Salmon: The Importance of Geomorphic Features in Large Rivers. *Environmental Management*, 22(5): 655-669.
- Kondolf, G.M., Cada, G.F., Sale, M.J. and Felando, T., 1991. Distribution and Stability of Potential Salmonid Spawning Gravels in Steep Boulder-Bed Streams of the Eastern Sierra Nevada. *Transaction of the American Fisheries Society*, 120: 177-186.
- Kondolf, G.M., M.J. Sale, M.G. Wolman, 1993. Modification of Fluvial Gravel Size by Spawning Salmonids. *Water Resources Research*, 29(7): 2265-2274.
- Lapointe, M., Eaton, B., Driscoll, S. and Latulippe, C., 2000. Modelling the probability of salmonid egg pocket scour due to floods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(6): 1120-1130.

- Lotspeich, F.B. and Everest, F.H., 1981. A New Method for Reporting and Interpreting Textural Composition of Spawning Gravel. PNW-369, US Dept. of Agriculture, Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station.
- McNeil, J.W. and Ahnell, W.H., 1964. Success of pink salmon spawning relative to size of spawning bed materials. 469, U.S. Fish and Wildlife Service Special Scientific Report Fisheries.
- Montgomery, D.R., Beamer, E.M., Pess, G.R. and Quinn, T.P., 1999. Channel Type and Salmonid Spawning Distribution and Abundance. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56: 377-387.
- Peterson, R.H. and Metcalfe, J.L., 1981. Emergence of Atlantic Salmon Fry from Gravels of Varying Compositions : a Laboratory Study. 1020, Fisheries and Environmental Sciences, Department of Fisheries and Oceans, Biological Station, St-Andrews, New Brunswick.
- Sowden, T.K. and Power, G. 1985. Prediction of rainbow trout embryo survival in relation to groundwater seepage and particle size of spawning substrate. *Transactions of the American Fisheries Society*, 114: 804-812.
- Tappel, P.D. and Bjornn, T.C., 1983. A new method of relating size of spawning gravel to Salmonid embryo survival. North American Journal of Fisheries Management, 3: 123-135.
- Vukovic, M. and Soro, A. 1992. *Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, pp. 83.
- Walsh, M. and Calkins, D., 1986. River Ice and Salmonids, Fourth Workshop on Hydraulics of Rivers Ice, Montreal.
- Wickett, W.P., 1954. The oxygen supply to salmon eggs in spawning beds. Journal of Fisheries Research Board of Canada, 11(6): 933-953.
- Wilson, L., 2003. Analysis of Atlantic salmon habitat distribution and sensitivity to forest extraction in the Cascapédia River drainage basin using a GIS. M. Sc. Thesis, McGill, Montreal Québec, pp. 149.
- Young, M.K., Hubert, W.A. and Wesche, T.A., 1991. Selection of Measures of Substrate Composition to Estimate Survival to Emergence of Salmonids and to

Detect Changes in Stream Substrates. North American Journal of Fisheries Management, 11: 339-346.

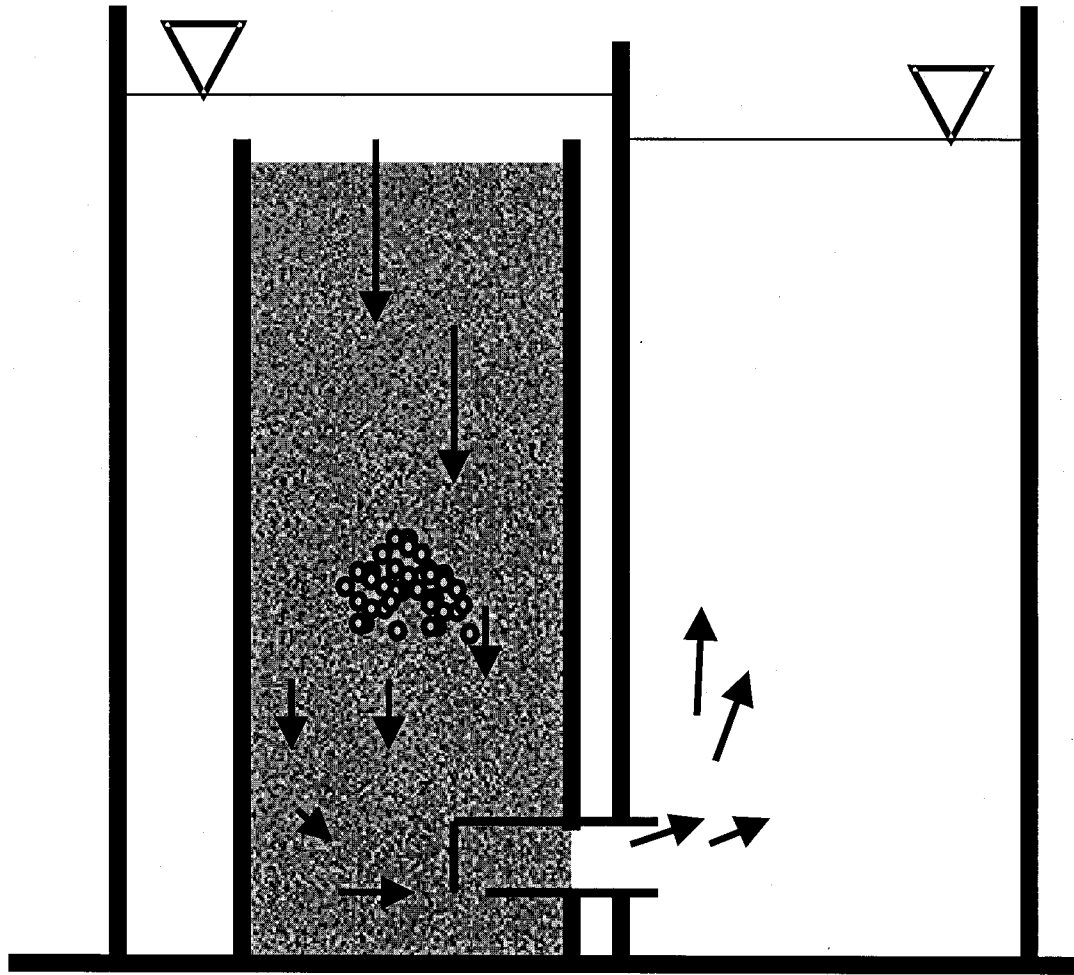


Figure 1 Diagram showing one of the cylinder used to incubate Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs.

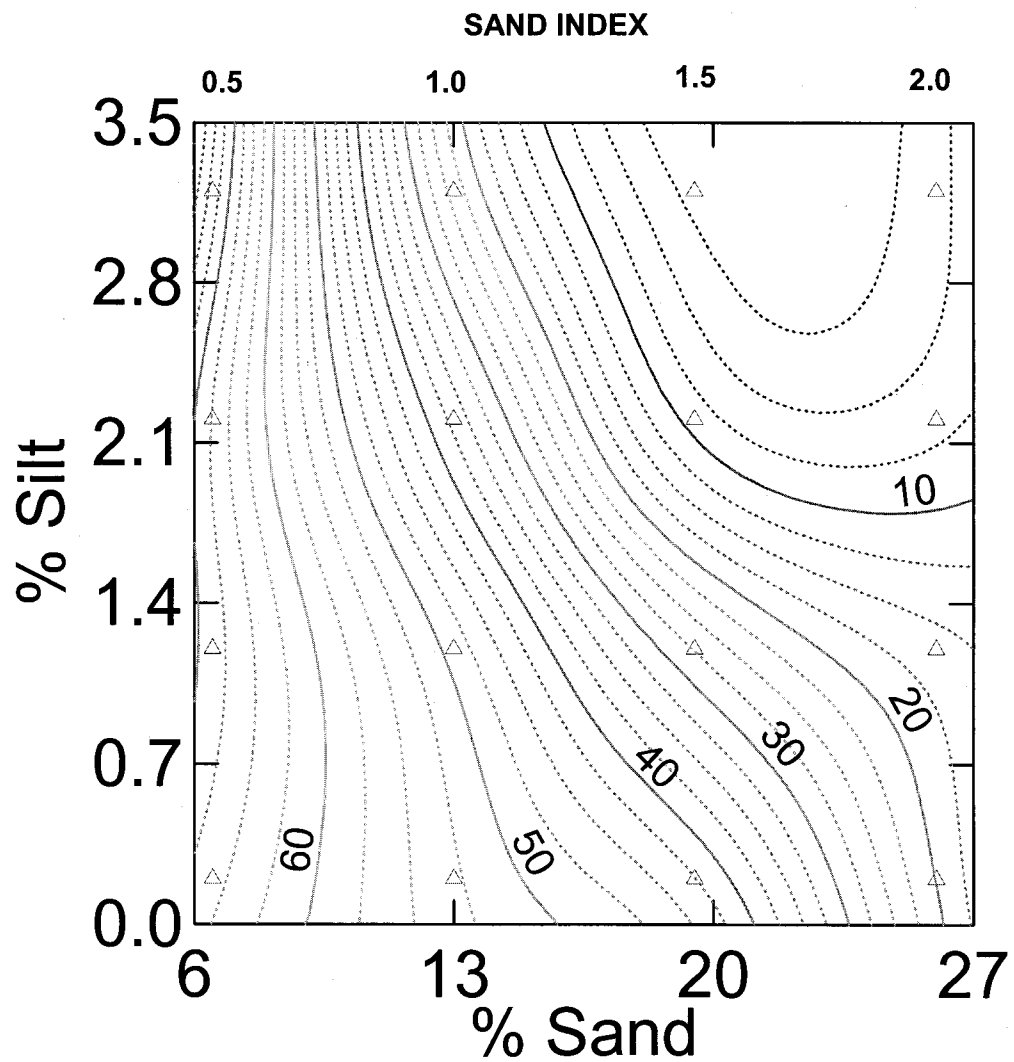


Figure 2 Survival to emergence of fry averaged over the three study gradients as a function of % sand and % silt.

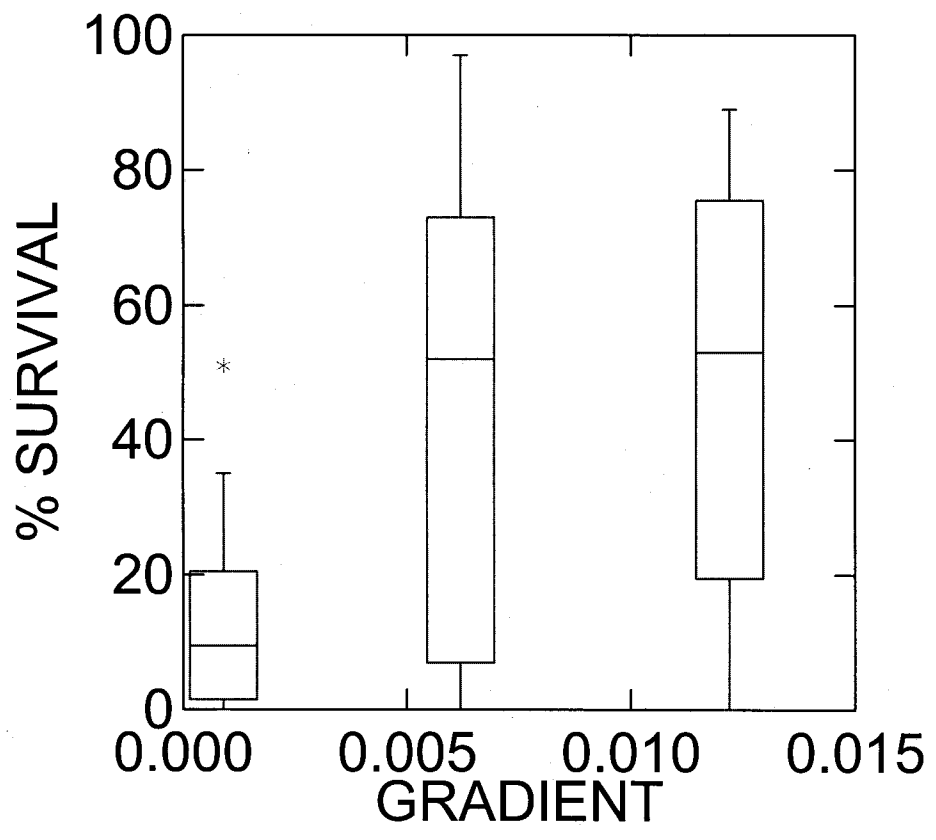


Figure 3 Survival to emergence of fry as a function of hydraulic gradient.

**CHANGE IN % SURVIVAL BETWEEN
LOW AND MID-LEVEL GRADIENTS**

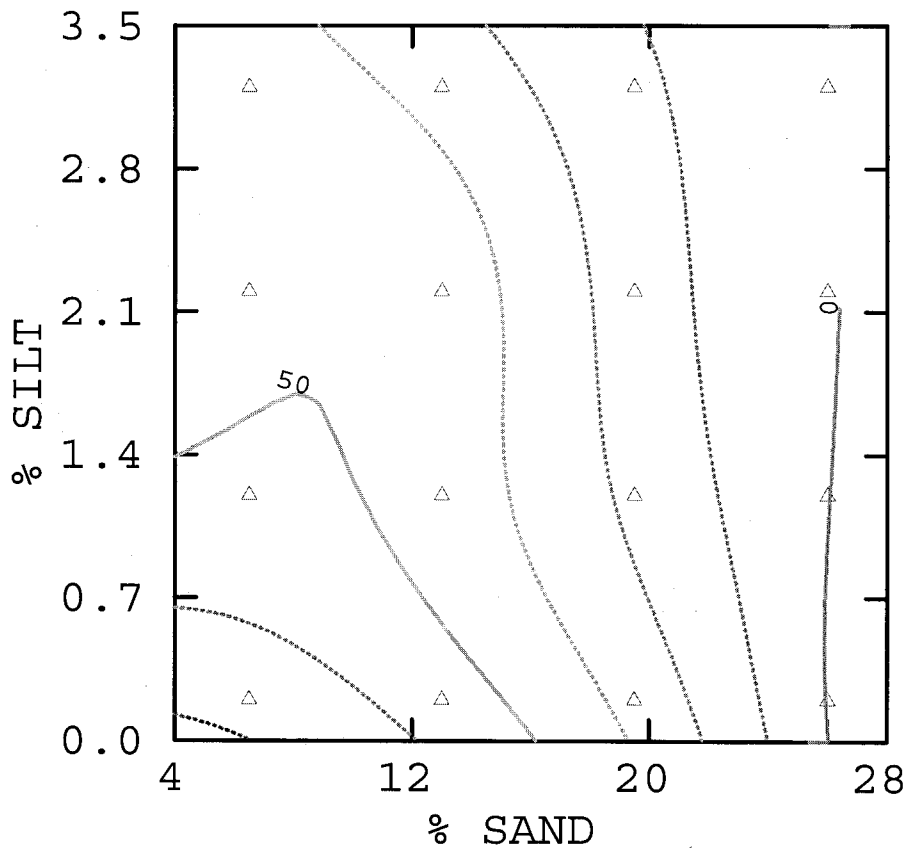


Figure 4a % change of survival to emergence resulting from an increase of gradient A) from low to mid-level gradients and B) from mid to high level gradients.

CHANGE IN % SURVIVAL BETWEEN MID AND HIGH LEVEL GRADIENTS

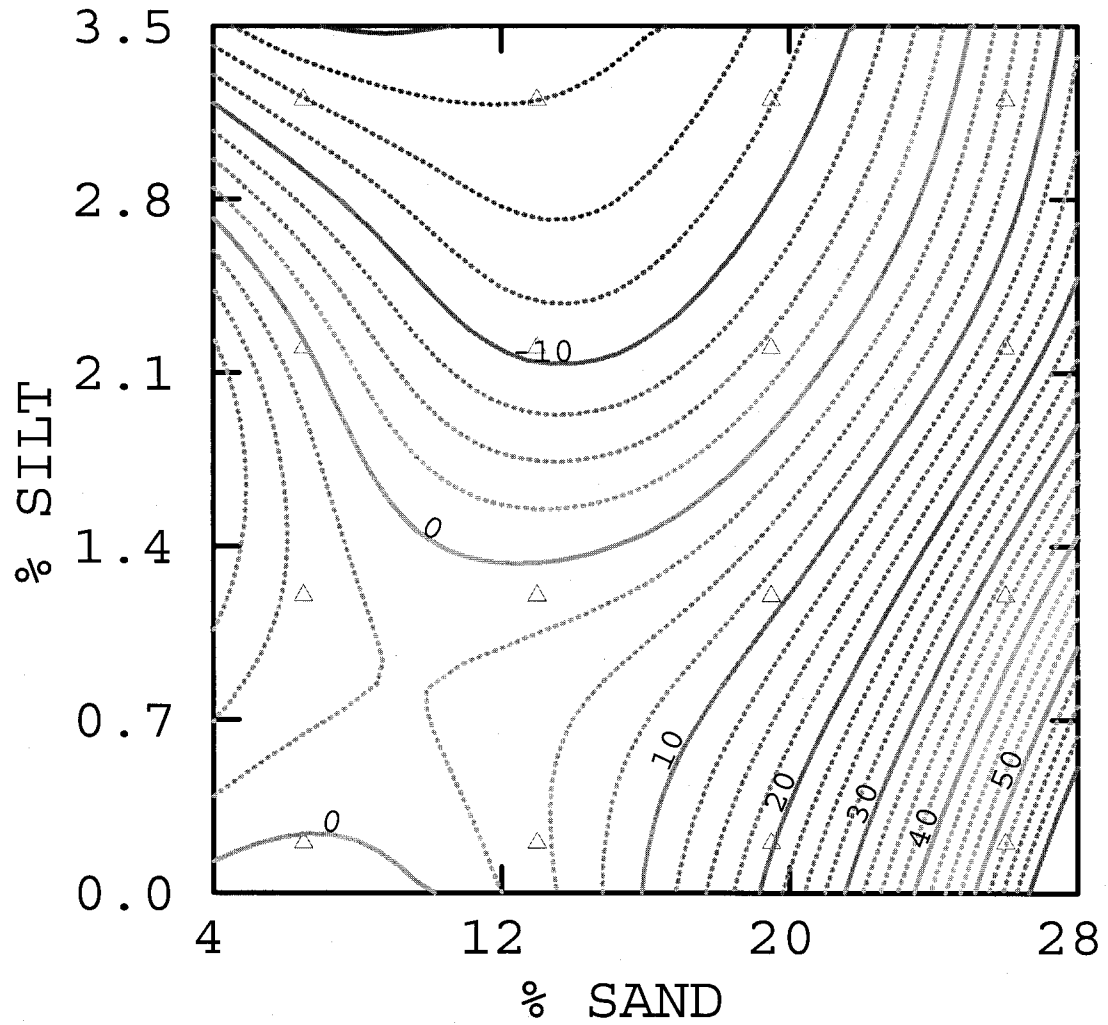


Figure 4b % change of survival to emergence resulting from an increase of gradient A) from low to mid-level gradients and B) from mid to high level gradients.

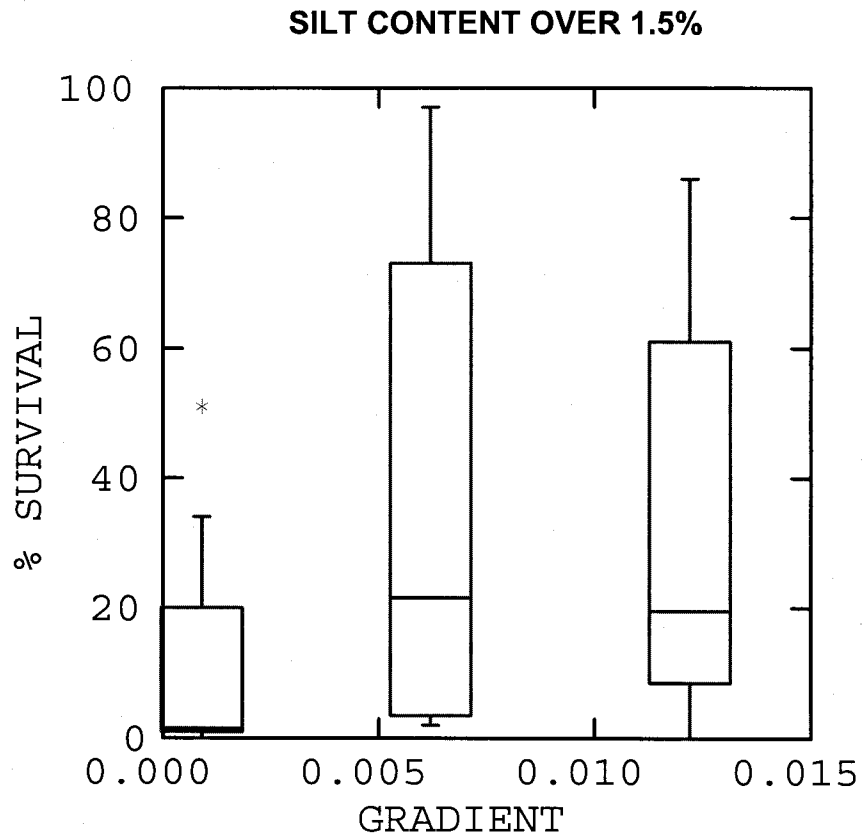


Figure 5a Effect of increasing hydraulic gradient on survival to emergence for A) silt rich (> 1,5 %) and B) silt poor (<1,5 %) sediment mixtures.

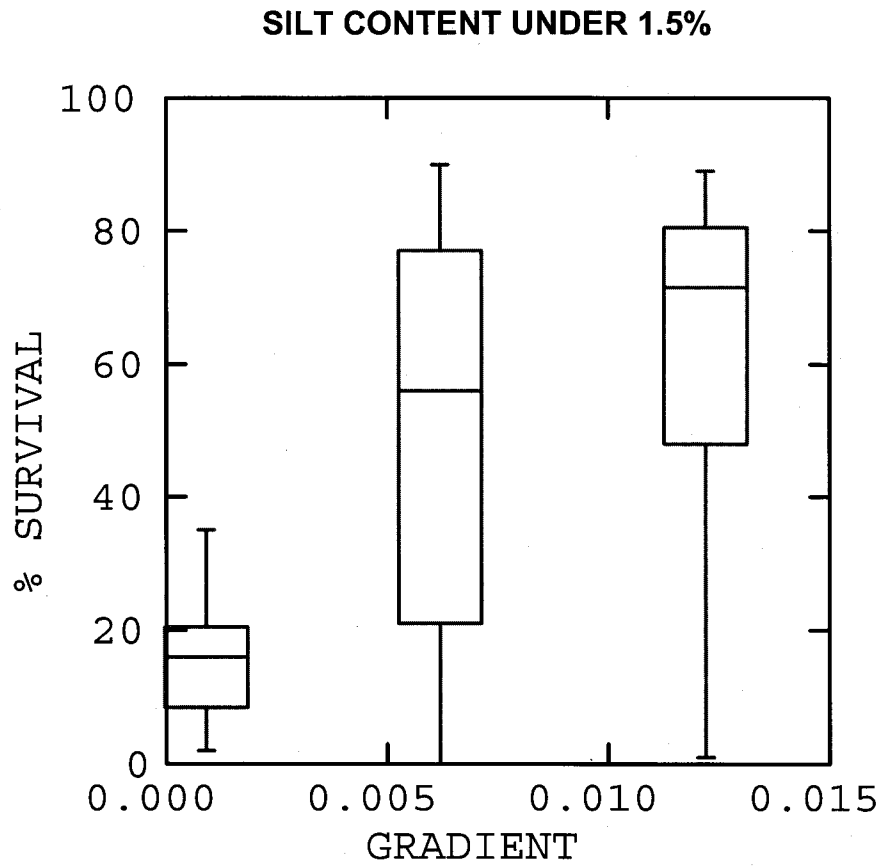


Figure 5b Effect of increasing hydraulic gradient on survival to emergence for A) silt rich (> 1,5 %) and B) silt poor (<1,5 %) sediment mixtures.

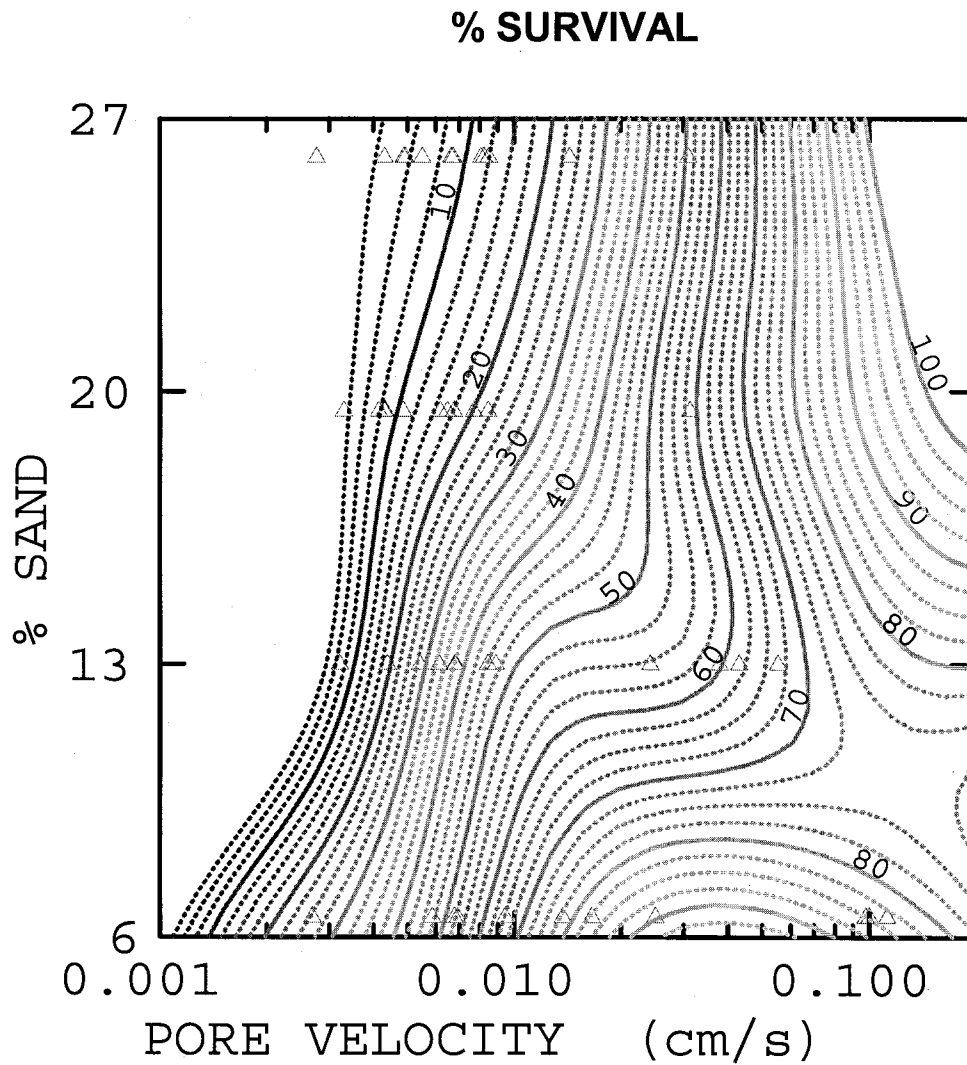


Figure 6 Survival to emergence of fry as a function of interstitial flow velocity and fine sediment content.

PARTIE 2

**Effet des sédiments fins sur la survie des embryons
de saumon de la rivière Cascapédia**

OBJECTIF

Parrallèlement aux travaux de laboratoire décrits dans la partie 1 de ce rapport, nous avons effectué une étude sur le terrain visant à déterminer l'effet des sédiments fins sur la survie des embryons de saumon de la rivière Cascapédia. Ces travaux avaient pour objectifs de valider les critères de survie développés en laboratoire et de fournir une évaluation de la qualité des frayères de la rivière Cascapédia.

SITES ET MÉTHODES

L'étude a été effectuée sur 13 frayères représentatives de la variabilité des conditions morpho-sédimentologiques de la rivière Cascapédia (Figure 7). En octobre 2002, immédiatement après la période de fraie du saumon atlantique, des paniers d'infiltration «virtuels» ont été enfouis dans le substrat de manière à simuler la structure morpho-sédimentaire d'un nid naturel de saumon. Le panier virtuel est une nouvelle technique d'échantillonnage du substrat de fraie développée par notre groupe de recherche et qui est utilisée avec succès depuis quelques années sur les rivières Sainte-Marguerite et Betsiamites. La technique permet de simuler la structure sédimentaire d'un nid de saumon atlantique et d'échantillonner le substrat à l'intérieur de ce dernier sans perte des sédiments fins.

Le panier virtuel découle d'une modification d'un concept d'échantillonnage présenté par Lisle et Eads (1991). Le panier virtuel est constitué d'une armature rectangulaire en métal (33x33x20 cm) sans parois mais dont la partie du fond est grillagée (Figure 8). À chaque panier d'infiltration est associé un sac de caoutchouc souple d'une profondeur de 40 cm dont l'ouverture est renforcée par un cadre rectangulaire (38x40 cm) constitué d'une tige métallique. Deux câbles en acier servant d'amarre sont attachés à ce cadre .

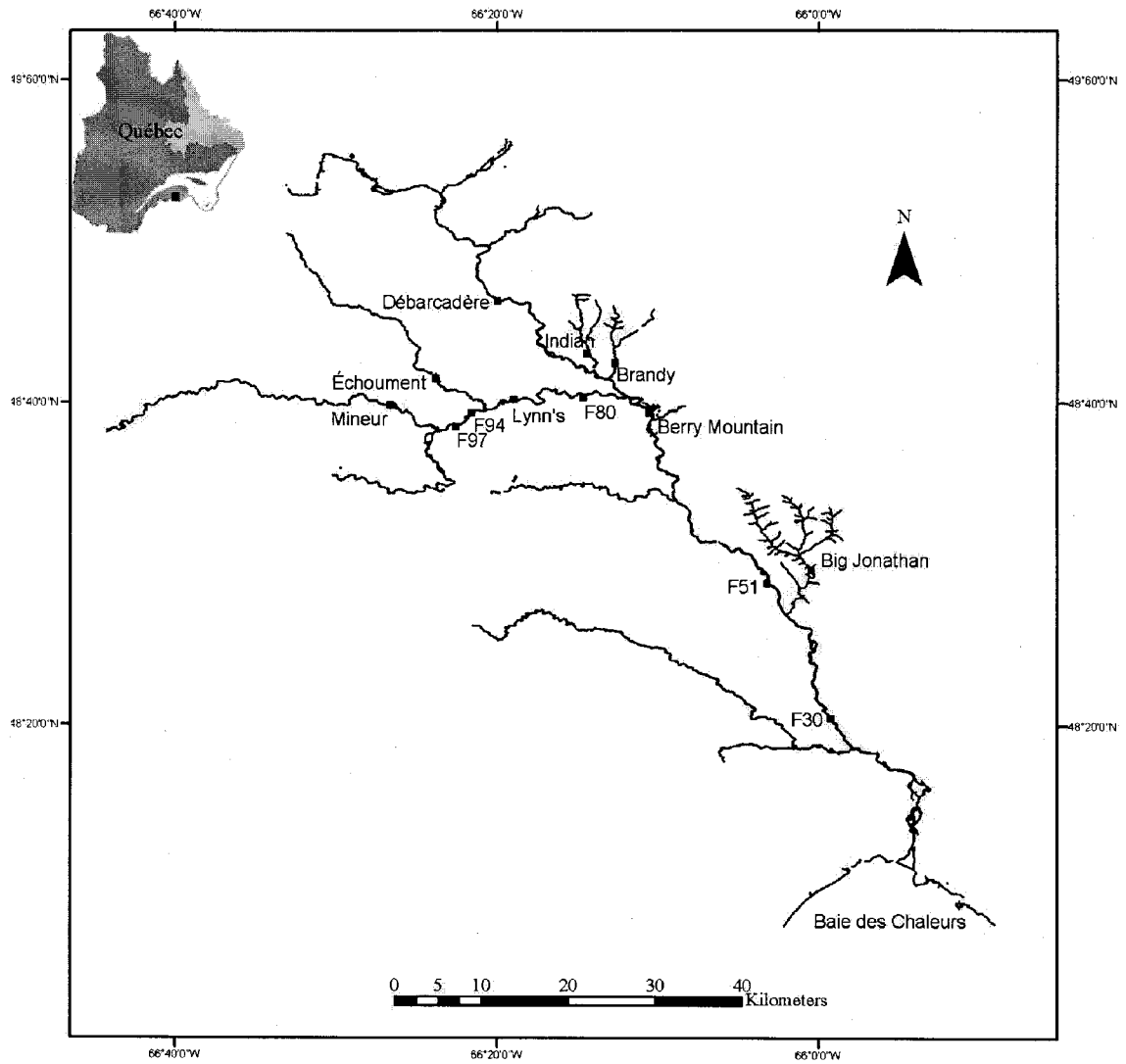


Figure 7. Localisation des frayères à l'étude sur la rivière Caspédia.

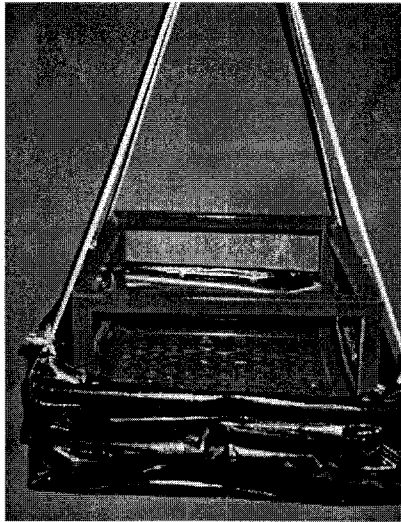


Figure 8. Photo d'un panier virtuel: armature de métal et sac.

Chaque panier est installé de façon à simuler un nid de saumon naturel. Premièrement, une dépression d'environ 25 cm de profondeur par 75 cm de diamètre est creusé dans le substrat à l'aide d'une pelle en poussant les sédiments du lit immédiatement vers l'aval de la dépression. Ensuite, le sac de caoutchouc rabattu est installé au fond du trou et le panier est déposé sur le sac (Figure 9).



Figure 9. Photo d'un panier virtuel et de son sac lors de l'installation.

Par la suite, le panier est remblayé à la manière d'un saumon femelle qui enfouit ses œufs, c'est-à-dire en soulevant légèrement dans les airs les sédiments situés en amont du trou de façon à ce que le courant redépose les particules les plus grosses dans le panier mais entraînent en aval les particules fines. Cette procédure permet ainsi de positionner le panier d'infiltration au sein d'une structure morpho-sédimentaire imitant de façon très réaliste un nid de saumon naturel. Puisque le panier ne comporte pas de parois en tant que tel, il ne nuit pas à l'écoulement intragravier et subit exactement les mêmes processus d'érosion et/ou d'infiltration de sédiments fins qu'un nid naturel de saumon. Au moment désiré, le panier est retiré du substrat en tirant, à l'aide d'un treuil fixé à un trépied, sur les deux câbles d'acier attachés au sac de caoutchouc (Figure 10). Le sac est d'abord guidé vers la surface en glissant le long des arêtes de l'armature en métal du panier. Puis, une fois les côtés du sac complètement relevés, le substrat et le panier contenu dans le sac sont tirés vers la surface où ils peuvent être déposés dans une embarcation et ramenés sur la berge pour analyses.

Lorsqu'utilisée de la façon décrite plus haut, la technique permet de déterminer les caractéristiques des sédiments fins contenus dans un nid de saumon. La technique permet cependant aussi de déterminer la survie des embryons de saumons durant la période d'incubation. Pour ce faire, un nombre connu d'œufs fertilisés de saumon est déposé lors de la pose au centre du cube à une profondeur d'environ 20 cm. Les dates prévues d'éclosion et d'émergence des œufs sont ensuite calculées en utilisant la courbe des degrés-jours de la température de l'eau de la rivière et le panier contenant le substrat et les œufs est retiré du lit de la rivière avant la date prévue de l'émergence afin que les alevins n'aient pas encore quitté le nid. Le contenu des nids est alors analysé afin de déterminer le taux de survie des œufs aux différents stades de développement (alevin, œuf oeuillé, œuf pré-oeuillé).

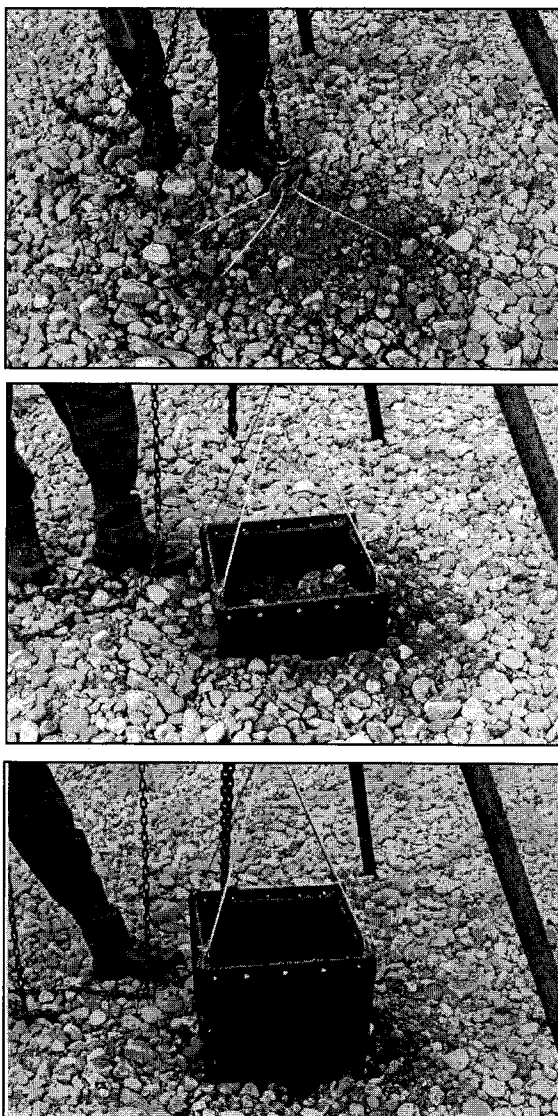


Figure 10. Séquence d'extraction d'un panier du substrat. À titre d'exemple le panier a été installé sur une partie exondée du lit.

Dans le cadre de la présente étude, 2 ou 5 paniers virtuels ont été installés sur chacune des frayères dépendamment de la taille de celle-ci. Les paniers contenant les œufs ont été installés à la fin octobre 2002, immédiatement après la période de fraie du saumon. Chaque panier contenait 100 œufs fertilisés de saumon atlantique (*Salmo salar*). Les œufs ont été fournis par la Société Cascapédia et provenaient de deux saumons femelle de la rivière Cascapédia. Des groupes d'œufs témoins provenant de chacune des femelles ont été conservés aux incubateurs de la Société Cascapédia.

Les paniers ont été retirés du substrat à la fin juin 2003, environ une dizaine de jours avant la date prévue d'émergence des alevins. Le contenu de chacun des paniers a été analysé afin de déterminer la survie des embryons et la courbe granulométrique des sédiments. Sur chacune des frayères où 5 paniers avaient été installés, un panier a été laissé sur place et recouvert d'une cage d'émergence afin de tester une nouvelle méthode d'évaluation de la survie à l'émergence des alevins. Pendant les deux semaines suivantes, ces paniers ont été visités à tous les deux jours afin de dénombrer les alevins émergés dans les cages.

RÉSULTATS

Survie des oeufs

Le tableau 1 présente la survie des embryons dans les frayères étudiés. Ces résultats indique un très faible taux de survie sur l'ensemble des frayères à l'étude. En effet, très peu d'alevins vivants ont été retrouvés dans les paniers à la fin de la période d'incubation. Lors de l'analyse du contenu des paniers, nous avons remarqué une présence très anormalement élevées de moisissures sur les œufs. Cette moisissure semble s'être attaquée aux œufs très tôt dans leur développement comme l'indique le nombre élevé d'œufs morts au stade pré-oeillé. Le nombre élevé d'œufs manquants (œufs manquants = 100 œufs déposés dans le nid – total retrouvé) laisse aussi supposer que beaucoup d'œufs sont morts rapidement et se sont décomposés entièrement lors de l'incubation.

Tableau 1. Résultats de l'étude de survie des embryons.

Site	# cube	couvercle	Vivant		Mort		Total retrouvé
			alevins	alevins	œufs oeillés	œufs non-oeillés	
F80	1	non	0	0	7	61	68
	2	non	0	0	4	56	60
	3	non	0	0	5	29	34
	4	non	0	0	4	68	78
	5	oui	0	0	3	16	46
F94	1	non	0	0	7	28	45
	2	non	0	0	3	14	18
	3	non	0	0	3	4	7
	4	oui	10	0	1	4	25
	5	non	0	0	7	6	24
F97	1	oui	4	0	9	20	71
	2	non	1	0	3	34	46
	3	non	11	0	13	4	32
	4	non	6	0	5	22	38
	5	non	12	0	1	12	29
Lynn's	1	non	16	0	1	14	32
	2	non	9	0	9	33	63
	3	non	7	0	29	8	55
	4	oui	1	2	14	8	57
	5	non	0	0	4	57	69
Débarcadère	1	non	35	0	3	13	54
	2	non	10	0	2	54	69
	3	non	0	0	0	38	40
	4	oui	8	3	1	18	44
	5	non	2	0	0	33	36
F30	1	non	0	0	8	14	29
	2	non	0	0	22	18	49
	3	non	0	0	26	24	63
	4	non	0	0	28	20	59
	5	oui	0	0	2	8	53
F51	1	non	0	0	12	41	92
	2	non	0	0	5	15	41
	3	oui	0	0	1	25	71
	4	non	0	0	2	10	42
	5	non	0	0	1	22	41
Berry Mountain	1	oui	1	0	7	7	48
	2	non	0	0	3	11	30
	3	non	0	0	1	28	42
	4	non	0	0	0	0	4
	5	non	0	0	0	1	1
Big Jonathan	1	oui	0	0	3	53	71
	2	non	0	0	0	72	95
Brandy	1	oui	0	0	4	10	45
	2	non	0	0	5	34	57
Echoument	1	non	0	0	0	36	56
	2	oui	0	0	12	23	38
Indian Brook	1	oui	0	0	6	6	20
	2	non	0	0	0	0	0
Mineur	1	non	0	0	3	1	8
	2	oui	0	0	0	0	4

Les dirigeants de la Société Cascapédia nous ont laissés savoir que des problèmes importants de moisissures se sont aussi produits dans leurs incubateurs au cours de la période d'incubation 2002-2003. Afin de maintenir un bon taux de survie des embryons, les dirigeants ont dû effectuer des traitements au vert de malachite à toutes les semaines durant la période d'incubation. Grâce à ces traitements, ils ont réussi à maintenir un bon taux de survie des œufs. Malheureusement, les œufs enfouis dans les paniers sur le terrain n'ont pas bénéficiés de ce traitement et il en a résulté une mortalité très importante des embryons. Il est probable que lors d'une des étapes de manipulation ou de fertilisation des œufs, ceux-ci ont été infectés par un champignon qui a rapidement affectés une grande proportion des œufs.

Le très faible taux de survie des œufs qui résulte de cette situation rend ainsi malheureusement impossible l'analyse qui avait été prévue concernant l'étude des liens entre la survie des embryons et les caractéristiques des sédiments fins dans les paniers d'infiltration. Ces faibles taux de survie ne devraient pas être perçue comme reflétant une mauvaise qualité des frayères de la Cascapédia puisqu'il est probable que la contamination des œufs s'est produite lors de la manipulation et que cette contamination n'a pas affectée les œufs des nids naturels de saumon.

Sédiments fins

Malgré les problèmes de moisissures qui rendent impossible l'analyse de la survie des œufs en fonction des sédiments fins, il demeure néanmoins utile de fournir une description sommaire des sédiments fins contenus dans les paniers à la fin de la période d'incubation (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques des sédiments fins dans les nids à la fin de la période d'incubation.

Site	# cube	couverture	sable %	sable grossier %	sable fin %	limon %	érosion
			< 2mm	.250-2mm	.063-.250mm	< .063mm	
F80	1	non	4,544	3,446	0,883	0,215	
	2	non	4,196	3,557	0,498	0,141	
	3	non	5,98	4,242	1,481	0,257	
	4	non	7,469	6,566	0,67	0,232	
	5	oui	8,191	7,496	0,509	0,185	
F94	1	non	10,372	7,996	1,957	0,419	
	2	non	7,135	5,092	1,693	0,35	
	3	non	6,241	5,023	0,971	0,247	
	4	oui	6,402	5,342	0,79	0,27	
	5	non	5,95	4,877	0,858	0,214	
F97	1	oui	11,213	10,164	0,81	0,239	
	2	non	11,154	10,062	0,861	0,231	
	3	non	8,408	7,394	0,763	0,251	
	4	non	9,633	8,369	0,961	0,303	
	5	non	13,566	11,858	1,331	0,376	
Lynn's	1	non	3,606	3,364	0,177	0,064	
	2	non	9,936	9,146	0,588	0,202	
	3	non	7,088	6,104	0,758	0,226	
	4	oui	7,294	6,267	0,784	0,243	
	5	non	14,605	13,607	0,698	0,236	
Débarcadère	1	non	10,488	9,252	0,77	0,467	
	2	non	9,504	8,597	0,563	0,344	
	3	non	12,055	10,62	0,99	0,445	forte
	4	oui	5,619	4,845	0,51	0,264	
	5	non	3,491	3,154	0,233	0,104	moyenne
F30	1	non	5,255	4,115	0,99	0,151	
	2	non	5,643	4,783	0,725	0,136	
	3	non	5,162	3,899	1,103	0,16	
	4	non	5,329	4,355	0,828	0,147	
	5	oui	6,172	4,813	1,168	0,191	
F51	1	non	13,068	11,985	0,875	0,209	faible
	2	non	8,835	8,158	0,551	0,126	
	3	oui	10,582	9,282	1,029	0,271	
	4	non	8,154	7,31	0,674	0,169	
	5	non	11,232	10,2	0,839	0,193	
Berry Mountain	1	oui	10,991	9,67	1,077	0,244	
	2	non	7,551	6,619	0,768	0,164	
	3	non	6,838	5,708	0,934	0,196	
	4	non	5,86	4,459	1,204	0,198	
	5	non	6,231	5,397	0,664	0,17	
Big Jonathan	1	oui	8,197	7,709	0,318	0,17	forte
	2	non	6,252	5,884	0,238	0,13	
Brandy	1	oui	11,432	9,673	0,867	0,892	
	2	non	13,509	11,447	1,121	0,941	
Echoument	1	non	6,516	5,353	0,807	0,355	
	2	oui	5,564	3,797	1,271	0,495	
Indian Brook	1	oui	11,624	10,369	0,844	0,411	recouvert
	2	non	11,813	10,336	1,024	0,453	moyenne
Mineur	1	non	4,501	3,727	0,563	0,211	
	2	oui	6,006	4,949	0,806	0,251	

De façon générale, on constate qu'à la fin de la période d'incubation, les paniers virtuels simulant des nids naturels de saumon atlantique contiennent relativement peu de sable moyen à grossier (généralement moins de 10% de sable entre 0.250 et 2 mm) mais contiennent une quantité importante de silts (0.2 à 0.4 % de silts, taille <0.063 mm). Pour offrir un point de comparaison permettant de mieux évaluer ces résultats, les figures 11 et 12 présentent respectivement une comparaison des pourcentages de sable et de silts dans les rivières Cascapédia et Sainte-Marguerite (Saguenay). Ces résultats ont été obtenus en utilisant exactement la même technique d'échantillonnage sur les deux rivières. La figure 11 indique que les nids de saumon simulés de la rivière Sainte-Marguerite contiennent environ deux fois plus de sable que ceux de la Cascapédia, mais que ces derniers contiennent environ dix fois plus de silts.

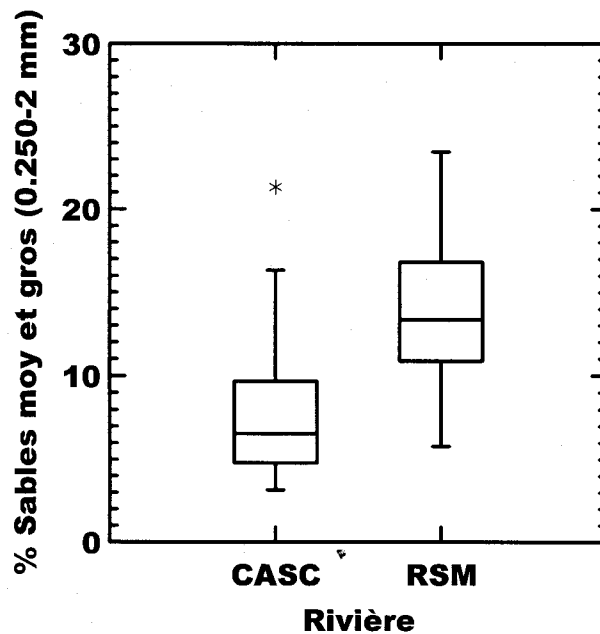


Figure 11. Comparaison des pourcentages de sable moyen à grossier (0.250 à 2 mm) retrouvés dans les paniers virtuels simulant des nids de saumon sur les rivières Cascapédia (CASC) et Sainte-Marguerite (RSM).

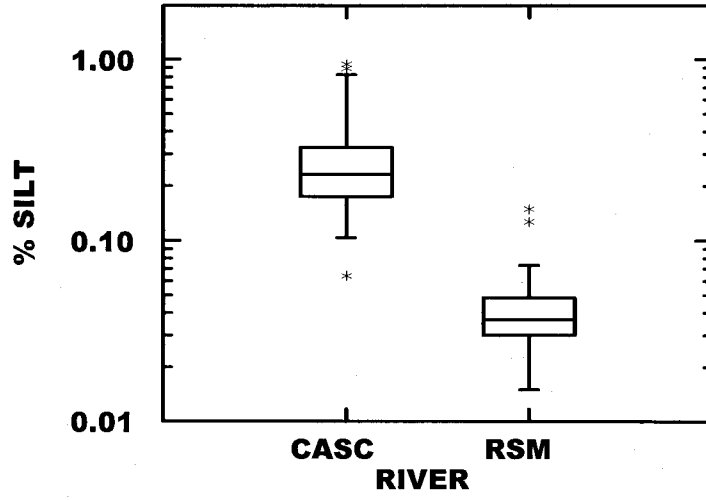


Figure 12. Comparaison des pourcentages de silts (<0.063 mm) retrouvés dans les paniers virtuels simulant des nids de saumon sur les rivières Cascapédia (CASC) et Sainte-Marguerite (RSM).

CONCLUSION

Les objectifs de l'étude étaient de 1) développer de nouveaux critères sédimentologiques de qualité du substrat au moyen d'expérience en laboratoire permettant d'approfondir les résultats obtenus au cours de la première étude et de 2) valider ces critères sédimentologiques sur le terrain en effectuant une étude de la survie des embryons de saumon sur la rivière Cascapédia.

Les résultats de l'étude en laboratoire présentés dans la partie 1 du rapport indique que le pourcentage de limons (sédiments < 0.063 mm) et l'ampleur du gradient hydraulique à l'échelle du nid sont des variables importantes qui doivent être considérés dans l'évaluation de la qualité des frayères. En effet, pour des substrats ayant une teneur en sable supérieur à 10%, une augmentation en silt de 1% a eu pour effet d'augmenter la mortalité des embryons trois fois plus qu'une augmentation de 1% en sable. De plus, il a été démontré qu'une augmentation du gradient hydraulique poussant l'écoulement à travers le nid a un effet positif sur la survie mais que la magnitude de cet effet dépend de l'effet combiné de la composition en sable et en limons.

En raison de la contamination par un champignon des œufs utilisés pour l'étude de survie des embryons de saumon dans les frayères de la rivière Cascapédia, le taux de survie des embryons s'est avéré très faible. Ce très faible taux de survie des œufs a malheureusement rendu impossible l'analyse qui avait été prévue concernant les liens entre la survie des embryons et les caractéristiques des sédiments fins dans les paniers d'infiltration. Cependant, ce faible taux de survie ne devrait pas être perçue comme reflétant une mauvaise qualité des frayères de la Cascapédia puisqu'il est probable que la contamination des œufs s'est produite lors de la manipulation et que cette contamination n'a pas affectée les œufs des nids naturels de saumon.

L'analyse des sédiments contenus à la fin de la période d'incubation dans les paniers virtuels simulant des nids naturels de saumon indique qu'ils contiennent relativement peu de sable moyen à grossier (généralement moins de 10% de sable entre

0.250 et 2 mm) mais contiennent une quantité importante de silts (0.2 à 0.4 % de silts, taille <0.063 mm). Une comparaison avec une étude similaire effectuée sur la rivière Sainte-Marguerite (Saguenay) indique que les nids de saumon simulés de la rivière Sainte-Marguerite contiennent environ deux fois plus de sable que ceux de la Cascapédia, mais que ces derniers contiennent environ dix fois plus de silts. En raison de l'effet négatif accrue des silts par rapport aux sables, il est possible que la composition granulométrique du substrat de la rivière Cascapédia ne favorise pas une survie optimale des embryons de saumon. Pour bien cerner l'importance de l'effet du substrat sur la production de saumon de la Cascapédia, il est recommandé qu'une étude de survie des embryons soit effectuée sur une période d'au moins trois années consécutives. De plus, une très grande attention devrait être portée à la manipulation des œufs afin d'éviter toutes contaminations entravant la bonne marche de l'étude.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur participation au projet: Véronique Thériault, Marc Lafond, Serge Higgins (LARSA), Annie Ménard, Patrice Carbonneau, Marc Gauthier et les personnes ressources de la Société Cascapédia. Ce projet a été financé par le *Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier; Volet 1 – expérimentation* du Ministère des Ressources Naturelles du Québec.